

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7596096号  
(P7596096)

(45)発行日 令和6年12月9日(2024.12.9)

(24)登録日 令和6年11月29日(2024.11.29)

(51)国際特許分類

F I

B 2 3 K 26/342 (2014.01)

B 2 3 K 15/00 (2006.01)

B 2 3 K 26/342

B 2 3 K 15/00 5 0 1 B

B 2 3 K 15/00 5 0 6

請求項の数 8 外国語出願 (全18頁)

|                   |                             |          |                                                |
|-------------------|-----------------------------|----------|------------------------------------------------|
| (21)出願番号          | 特願2020-142493(P2020-142493) | (73)特許権者 | 500520743                                      |
| (22)出願日           | 令和2年8月26日(2020.8.26)        |          | ザ・ボーイング・カンパニー                                  |
| (65)公開番号          | 特開2021-74773(P2021-74773A)  |          | The Boeing Company                             |
| (43)公開日           | 令和3年5月20日(2021.5.20)        |          | アメリカ合衆国、22202 ヴァージニア州、アーリントン、ロング・ブリッジ・ドライブ、929 |
| 審査請求日             | 令和5年7月26日(2023.7.26)        | (74)代理人  | 100108453                                      |
| (31)優先権主張番号       | 16/675,642                  |          | 弁理士 村山 靖彦                                      |
| (32)優先日           | 令和1年11月6日(2019.11.6)        | (74)代理人  | 100133400                                      |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 米国(US)                      |          | 弁理士 阿部 達彦                                      |
|                   |                             | (74)代理人  | 100163522                                      |
|                   |                             |          | 弁理士 黒田 晋平                                      |
|                   |                             | (74)代理人  | 100154922                                      |
|                   |                             |          | 弁理士 崔 允辰                                       |
|                   |                             | (72)発明者  | ダニエル・エリオット・シーヴァース                              |
|                   |                             |          | 最終頁に続く                                         |

(54)【発明の名称】 付加製造による結合した鋼およびチタン

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

結合した第1の金属および第2の金属を含む物品(310、410、610)を付加製造する方法であって、前記第1の金属が鋼およびチタンの一方を含み、前記第2の金属が前記鋼および前記チタンの他方を含み、前記方法が、

前記第1の金属の基板(312、412、612)上に第3の金属(622)の界面層(322、422)を配置するステップであって、前記第3の金属(622)が、前記第1の金属と合金を形成することができかつ前記第2の金属と合金を形成することができる、ステップと、

前記第2の金属の消耗形態を前記界面層(322、422)の軌跡(332、432)に供給するステップと、

前記界面層(322、422)の前記軌跡(332、432)を非反応性環境(340、440)内で加熱するステップであって、加熱する前記ステップが、前記第2の金属の前記消耗形態を融解させて前記第2の金属の融解形態(314、414)を提供し、前記第2の金属の前記融解形態(314、414)を前記界面層(322、422)に接合し、前記界面層(322、422)を前記基板(312、412、612)に接合し、前記基板(312、412、612)内への前記界面層(322、422)の一部の溶解を引き起こす、ステップと

を含み、  
前記第3の金属(622)が、ニオブを含む、方法。

10

20

## 【請求項 2】

前記界面層（322、422）の前記軌跡（332、432）を加熱するステップが、前記第2の金属の前記融解形態（314、414）内への前記界面層（322、422）の一部の溶解を引き起こす、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記第2の金属の前記消耗形態を前記軌跡（332、432）に供給する前に、前記非反応性環境（340、440）内で前記界面層（322、422）を前記基板（312、412、612）に事前溶接するステップであって、事前溶接する前記ステップが、前記基板（312、412、612）内への前記界面層（322、422）の一部の溶解を引き起こす、ステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

10

## 【請求項 4】

前記界面層（322、422）の前記軌跡（332、432）を加熱するステップが、レーザービームおよび電子ビームの一方で加熱することを含む、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記界面層（422）が箔を含む、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記第2の金属の前記消耗形態が微粒子（326）を含み、前記第2の金属の前記融解形態（414）が融解微粒子を含む、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 7】

第1の金属の基板（312、412、612）と、

20

第2の金属の消耗形態の融解によって形成され、同時に第3の金属（622）の部分溶解層を介して前記基板（612）に接合された前記第2の金属の印刷構造（614）であって、前記第3の金属（622）が少なくとも前記基板（612）に浸透し、前記第1の金属が鋼およびチタンの一方を含み、前記第2の金属が前記鋼および前記チタンの他方を含む、印刷構造（614）と

を備え、

前記第3の金属（622）が、ニオブを含む、物品（310、410、610）。

## 【請求項 8】

前記第3の金属（622）が前記印刷構造にも浸透する、請求項7に記載の物品（310、410、610）。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示は、一般に、工業用物品の付加製造（additive manufacture）の分野に関し、より詳細には、結合した鋼およびチタンを含む物品（articles）の付加製造の分野に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

付加製造、すなわち「3D印刷」は、複雑なトポロジーの物品を製作するために使用されている。この技術では、固体の実世界の物品が、この物品の所望のトポロジーを画定する適切なデジタルモデルに基づいて層ごとに構築される。得られる物品は、最小限の人間の介在または専用のツーリングで得られる、デジタルモデルの高忠実度実現物である。金属含有物品の製造に適用される場合、付加製造には、通常、集束高エネルギービームによる消耗金属（consumable metal）の局部融解（localized fusion）が必要である。材料が付加されるべき物品の軌跡（locus）は、物品をビームに対して移動させること、および/または物品全体にビームをラスティングすること（rastering）により、リアルタイムで制御される。消耗金属は、形成される物品全体にわたって付着される微粒子の薄いコーティングとして提供されてもよく、あるいはノズルを介して軌跡へ直接導かれてもよい。

40

## 【発明の概要】

50

**【発明が解決しようとする課題】****【 0 0 0 3 】**

近年、付加製造の範囲を工業的に重要な金属にまで広げる技術が発展している。それにもかかわらず、様々な課題が残っている。１つの特定の課題は、鋼およびチタンなどの異種の結合した金属を含む物品の付加製造に関する。

**【課題を解決するための手段】****【 0 0 0 4 】**

本明細書に開示される例のいくつかは、結合した第１の金属および第２の金属を含む物品を付加製造する方法であって、第１の金属が鋼およびチタンの一方を含み、第２の金属が鋼およびチタンの他方を含む、方法に関する。この方法は、第１の金属の基板上に第３の金属の界面層を配置するステップであって、第３の金属が、第１の金属と合金を形成することができかつ第２の金属と合金を形成することができる、ステップを含む。この方法は、第２の金属の消耗形態を界面層の軌跡に供給するステップと、非反応性環境内で界面層の軌跡を加熱するステップとをさらに含む。この方法では、加熱するステップは、第２の金属の消耗形態を融解させて第２の金属の融解形態を提供し、第２の金属の融解形態を界面層に接合する。

10

**【 0 0 0 5 】**

他の例は、第１の金属の基板および第２の金属の印刷構造を備える物品に関する。第２の金属の印刷構造は、第２の金属の消耗形態の融解によって提供され、同時に第３の金属の部分溶解層を介して基板に接合される。第１の金属は鋼およびチタンの一方を含み、第２の金属は鋼およびチタンの他方を含む。そのようにして形成された物品において、第３の金属は少なくとも第１の金属の基板に浸透する。

20

**【 0 0 0 6 】**

他の例は、結合した第１の金属および第２の金属を含む物品を付加製造する方法であって、第１の金属が鋼およびチタンの一方を含み、第２の金属が鋼およびチタンの他方を含む、方法に関する。この方法は、第１の金属の基板上にニオブ層を配置するステップと、第２の金属の消耗形態をニオブ層の軌跡に供給するステップとを含む。この方法は、非反応性環境内でニオブ層の軌跡を加熱するステップであって、加熱するステップが、第２の金属の消耗形態を融解して第２の金属の融解形態を提供し、第２の金属の融解形態をニオブ層に接合する、ステップをさらに含む。

30

**【 0 0 0 7 】**

この「発明の概要」は、特許請求された主題の重要な形態または本質的な形態を特定することを意図したものではない。それどころか、特許請求された主題の範囲は、この「発明の概要」の内容にも、本開示のどの部分でも指摘され得る問題または欠点があれば対処する実施態様にも限定されない。本開示に記述される形態、機能、および利点は、いくつかの実施態様では独立に達成されてもよく、他の実施態様では組み合わせられてもよい。

**【 0 0 0 8 】**

本開示は、添付の作図を参照して下記の「発明を実施するための形態」を読むことにより、よりよく理解されるであろう。

**【図面の簡単な説明】**

40

**【 0 0 0 9 】**

【図１】合金を形成する金属Ａおよび金属Ｂの接合部全体にわたる例示的な所望の組成を示すグラフである。

【図２Ａ】結合した鋼およびチタンを含む物品を含む例示的な製造製品の態様を示す図である。

【図２Ｂ】図２Ａからの物品の別の図である。

【図３】消耗金属微粒子から物品を付加製造するために構成された例示的な装置の態様を示す図である。

【図４】消耗金属ワイヤから物品を付加製造するために構成された例示的な装置の態様を示す図である。

50

【図 5】結合した第 1 の金属および第 2 の金属を含む物品を付加製造するための例示的な方法の態様を示す図である。

【図 6】図 5 の方法に従って形成され得る例示的な物品の態様を示す図である。

【図 7】図 5 の方法に従って形成された物品の例の劈開面の領域の一連のエネルギー分散型 X 線 ( E D X ) 放射画像を示す図である。

【図 8】図 7 に示される領域を貫通して延伸する 2 つの経路に沿って抽出された E D X ライン走査データを示す図である。

【図 9】図 5 の方法に従って形成された物品の劈開面の別の領域で行われたナノインデンテーションライン走査実験の結果を示す図である。

【図 10】図 5 の方法に従って形成された物品の劈開面の別の領域の走査型電子顕微鏡 ( S E M ) 画像を示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

上述したように、最先端の付加製造は、異種の結合した金属を含む物品には適さない場合がある。高強度の物品を提供するために、融解消耗金属の各軌跡は、その下の層に確実に接着されなければならない。融解金属および下位層が異なる金属を含むシナリオでは、これらの金属間の接合部は組成勾配を示すはずであり、融解金属の原子は下位層中に拡散しており、その逆も同様である。理想的には、接合部は、図 1 の組成プロファイルグラフに示されているように、傾斜組成 ( *graded composition* ) の合金を含む。

20

【 0 0 1 1 】

しかしながら、異種金属のいくつかの組合せで、このような合金を形成することはない。多くの場合、純金属の格子エネルギーおよび仮想合金の格子エネルギーは、合金の自由エネルギーが相分離系の自由エネルギーよりも大きくなるようなものである。これは、例えば、接合されようとしている金属の格子面間隔が非常に異なる場合に起こり得る。他の場合、異種金属は、図 1 に示される傾斜合金組成とは対照的に、一定組成 (例えば、1 : 1、2 : 1 など) の安定した金属間化合物を形成することができる。本開示を特定の理論に結びつけることなく、これらの効果は共に、直接付加製造により鋼およびチタンを直接接合することの観察された困難さの一因となると考えられる。

【 0 0 1 2 】

30

本明細書の発明者は、上記の困難さの解決策を見いだした。この解決策では、相互に互換性のある第 3 の金属の比較的薄い界面層が、第 1 の金属の基板の上に、かつ異種の第 2 の金属の融解形態の下に付加的に組み込まれる。界面層の組成は、接合されるべき第 1 の金属および第 2 の金属のそれぞれと傾斜合金を形成する界面層の能力に基づいて選択される。

【 0 0 1 3 】

この解決策を詳細に説明する前に、このようにして形成された付加製造物品のための 1 つの例示的なアプリケーションコンテキストが提示される。図 2 A は、航空機の形をとる例示的な製造製品 2 0 0 の態様を示す。航空機は、とりわけ、胴体 2 0 2、翼セクション 2 0 4、および操縦翼面 2 0 8 を備える尾部セクション 2 0 6 を含む。この図面の切抜き部分に示されているように、操縦翼面 2 0 8 は、操縦翼面の偏向を制御する油圧駆動の回転可能な歯車 2 1 0 によって作動される。歯車 2 1 0 はシャフト 2 1 2 を含み、シャフト 2 1 2 にはスプロケット 2 1 4 が連結される。この構成は図 2 B にも示されている。

40

【 0 0 1 4 】

航空機の構造的かつ / または機能的構成要素の実質的にすべてが、機械的強度のために最適化され得る。さらに、同じ構成要素の多くが、軽量化のためにさらに最適化される。この目的のために、スプロケット 2 1 4 は、強度、硬度、および耐久性のために選択された鋼を含むことができる。シャフト 2 1 2 は、かなりの長さのものであるので、高強度および軽量のために選択されたチタンまたはチタン合金を含むことができる。ほとんどの鋼の密度は  $7.75 \sim 8.05$  グラム / 立方センチメートル (  $\text{g cm}^{-3}$  ) であるのに対し

50

て、チタンの密度は  $4.51 \text{ g cm}^{-3}$  であるので、かなりのサイズの構成要素にチタンを組み入れることは特に有利である。いくつかの実施態様では、付加製造方法により、以前に機械加工されたチタンまたはチタン合金シャフト 212 上にスプロケット 214 を直接印刷することが望ましいかもしれない。

#### 【0015】

本開示に示される例は、基礎となる技術の適用性を決して制限しないことが理解されよう。実際、本明細書に記載されている方法は、結合した鋼およびチタンを含む広範囲の物品の付加製造に適用され得る。そのような物品は、重量に対する機械的強度を最適化するために、特別に構成される場合もあれば、そうでない場合もある。さらに、付加製造物品の基板がチタンを含むこと、または印刷された部分が鋼を含むことは、反対の構成も同様に想定されるので、必ずしも事実ではない。

10

#### 【0016】

図3は、物品310を付加製造するために構成された例示的な装置300の態様を示す。装置300は、付加製造プロセス中に物品310を取り囲むチャンバ316を含む。チャンバ316は回転チャック320を含み、付加製造プロセス中、物品310は回転チャック320に固定される。図3に示される特定の非限定的な例では、物品310の基板312は回転チャック320に固定される。回転式取付けは、例えば、回転対称性を有する物品の付加製造に有用であり得る。他の例では、物品は、万力、クランプ、またはアンビルによって固定され得る。

#### 【0017】

20

本明細書で使用される「基板」は、付加製造によって形成されるべき物品の基本構成要素である。いくつかの例では、基板は、比較的単純なトポロジーの構成要素であり、従来の機械加工によって形成され得る。いくつかの例では、基板はチタンを含むことができ、他の例では、基板は鋼を含むことができる。

#### 【0018】

引き続き図3を参照すると、第3の金属の薄箔を備える界面層322が基板312の上に配置される。いくつかの例では、界面層は基板に事前溶接され得る。他の例では、界面層は、最初に基板上に配置されるが、基板にしっかりと接着されていなくてもよい。物品310の付加製造の過程で(下記参照)、界面層322は、基板312に溶接されることになり得る。

30

#### 【0019】

装置300では、物品310は、基板312をはじめとして、または界面層が含まれている実施態様における界面層322をはじめとして、物品の下位層に第2の金属の融解形態314を空間的に選択付加することにより層状に形成される。したがって、装置300は、金属微粒子326として具現化された第2の金属の消耗形態の供給を保管する金属微粒子リザーバ324を含む。金属微粒子は、例えば、粗いまたは細かい金属粉末を含むことができる。基板がチタンまたはチタン合金を含む例では、金属微粒子は鋼を含むことができ、基板が鋼を含む例では、金属微粒子はチタンまたはチタン合金を含むことができる。

#### 【0020】

装置300は、金属微粒子リザーバ324から金属微粒子326をポンプで送り、ポンプで送られた金属微粒子をノズル330に送出する金属微粒子ポンプ328を含む。ノズル330は、図示の例では、融解金属微粒子が物品310に付加されることになる軌跡332の上に配置される。他の実施態様は、形成されるべき物品の表面全体にわたって金属微粒子の薄層を分散させる複数のノズルを含むことができる。いずれの場合でも、チャンバ316は、未融解金属微粒子が後で使用するために金属微粒子リザーバ324に戻されるように構成され得る。

40

#### 【0021】

装置300は、軌跡にある金属微粒子を融解し、それにより融解金属微粒子を物品310に付加するために、軌跡332にエネルギービーム336を送出するエネルギービーム供給源334を含む。いくつかの実施態様では、エネルギービーム供給源には、パルス変

50

調された高出力赤外線レーザなどのレーザが含まれ得る。レーザは、約 4 平方ミリメートル ( $\text{mm}^2$ ) の焦点領域に 1500 ~ 2000 ワット (W) の電力を供給するように構成されていてもよい。他の実施態様では、レーザの代わりに、電子ビーム供給源、プラズマアーク、ガス金属アーク供給源、または実質的に同様の出力および焦点領域の任意のエネルギー供給源が使用されてもよい。

#### 【0022】

装置 300 は、少なくとも金属微粒子の融解中にチャンバ 316 内の非反応性環境 340 を維持するように構成されている。非反応性環境は、例えば、酸素および窒素の枯渇した環境を含むことができる。いくつかの例では、非反応性環境は真空を含むことができる。他の例では、非反応性環境は、アルゴンやヘリウムなどの不活性ガスの雰囲気を含むことができる。いくつかの特定の例では、非反応性環境は窒素を含むことができる。いくつかの例では、不活性ガスは、チャンバ 316 を通って流れることができる。他の例では、雰囲気は、融解金属微粒子の過度の冷却を回避するために、名目上静的であり得る。

#### 【0023】

装置 300 は、回転チャック 320 に機械的に連結された並進ステージ 342 を含む。装置 300 において物品が層ごとに形成されると、並進ステージ 342 は、物品の連続する層が構築されるにつれて、回転チャックの高さを徐々に下げないように構成されていてもよい。並進ステージ 342 はまた、回転チャック 320 を横方向に移動させて回転チャックの基準フレーム、したがって物品 310 の基準フレームに対する軌跡 332 の相対位置を制御可能に変化させるように構成されていてもよい。並進ステージは、2 つ以上の対応する方向にチャックを移動させる 2 つ以上の構成要素並進ステージ (例えば、線形アクチュエータ) を含むことができ、2 つ以上の対応する方向は、例えば、デカルト X 軸、Y 軸、および Z 軸を含むことができる。いくつかの例では、1 つまたは複数の構成要素並進ステージの代わりに、またはそれに加えて、1 つまたは複数の構成要素回転ステージが使用されてもよい。本開示と同等に一致する他の例では、並進ステージまたは回転ステージは、エネルギービーム供給源 334 および / またはノズル 330 に機械的に連結されてもよく、回転チャック 320 は静止していてもよい。他の例では、回転チャックならびにエネルギービーム供給源および / またはノズルは移動可能であり得る。レーザの形をとるエネルギービーム供給源に適用される場合、回転ステージは、制御された偏向を有し、それにより集束レーザビームを任意所望の軌跡 332 に反射するミラーを含むことができる。

#### 【0024】

装置 300 はコンピュータ 344 を含む。コンピュータ 344 は、並進ステージ 342 に動作的に結合され、一連のアクチュエータ制御信号を介して、回転チャック 320 の基準フレームに対する軌跡 332 の相対位置をリアルタイムで制御するように構成されている。加えて、コンピュータ 344 は、エネルギービーム供給源 334 に動作的に結合され、1 つまたは複数のエネルギービーム制御信号を介して、軌跡に供給される電力をリアルタイムで制御するように構成されている。コンピュータ 344 は、形成されるべき物品のトポロジーを表すデジタルモデル 346 を受け取るようにさらに構成されている。デジタルモデルの性質および / またはデジタルデータ構造は、特に限定されるものではない。いくつかの例では、デジタルモデルは CAD ファイルを含むことができる。コンピュータは、デジタルモデルによって定義されている物品の付加製造を実現するために、デジタルモデルに基づいてアクチュエータ制御信号出力およびエネルギービーム制御信号出力を変化させるように構成されている。

#### 【0025】

他の様々な付加製造装置が代わりに使用され得るので、装置 300 の態様は限定的な意味に解釈されるべきではない。図 4 は、物品 410 を付加製造するために構成された別の装置 400 を示す。装置 400 では、チャンバ 416 が、回転チャック 420 に固定された物品を取り囲む。前の構成で述べたように、界面層 422 は、基板 412 の上に配置された第 3 の金属の薄箔を備える。

#### 【0026】

10

20

30

40

50

装置 400 では、物品 410 は、基板 412 をはじめとして、または界面層が含まれている実施態様における界面層 422 をはじめとして、物品の下位層に第 2 の金属の融解形態 414 を空間的に選択付加することにより層状に形成される。したがって、装置 400 は、金属ワイヤ 490 として具現化された第 2 の金属の消耗形態の供給を保管する金属ワイヤスプール 492 を含む。金属ワイヤは、例えば、任意の形状、寸法、および / またはゲージ、例えば、14、16、18、または 20 ゲージのワイヤを含むことができる。基板がチタンまたはチタン合金を含む例では、金属ワイヤは鋼を含むことができ、基板が鋼を含む例では、金属ワイヤはチタンまたはチタン合金を含むことができる。

【0027】

装置 400 は、金属ワイヤスプール 492 から金属ワイヤ 490 を導くとともに、この金属ワイヤをノズル 430 に送出するワイヤフィード 494 を含む。ノズル 430 は、図示の例では、金属ワイヤの融解形態が物品 410 に付加されることになる軌跡 432 に隣接して配置される。

【0028】

装置 400 では、エネルギービーム供給源 434 は、電子ビーム 436 を発する電子ビームエミッタの形をとる。電子ビームエミッタは、いくつかの例では、約 1 ~ 5 平方ミリメートル ( $\text{mm}^2$ ) の領域に 1500 ~ 2000 ワット (W) の電力を供給するように構成されていてもよい。他の実施態様では、電子ビームエミッタの代わりに、レーザ、プラズマアーク、ガス金属アーク供給源、または実質的に任意のエネルギー供給源が使用されてもよい。

【0029】

以前の構成と同様に、装置 400 は、少なくとも金属ワイヤ 490 の融解中にチャンバ 416 内の非反応性環境 440 を維持するように構成されている。非反応性環境は、真空、または、いくつかの例では、アルゴンやヘリウムなどの不活性ガスの雰囲気を含むことができる。非反応性環境が真空環境である実施態様では、エネルギービーム供給源 434 は、電子の熱電子放出を促進する電氣的に加熱されたフィラメントを含むことができる。非反応性環境が不活性ガスを含む実施態様では、電子放出は、不活性ガスのイオン化によって促進され得る。これらおよびその他の実施態様では、エネルギービーム供給源 434 は、回転チャック 420、基板 412、および物品 410 が接地電位に維持される間、負電圧でバイアスされ得る。このようにして、エネルギービーム供給源からの電子は、材料の堆積が所望される物品の軌跡 432 に向かって加速される。

【0030】

装置 400 では、金属ワイヤフィード 494 は、金属ワイヤ 490 を直接電子ビーム 436 の中に供給するか、または電子ビームによって加熱された軌跡 432 の中に供給する。この例では、エネルギービーム供給源 434 は、付加製造方法で消費されることを意図していない、タングステンなどの高融点金属を含む。他の例では、エネルギービーム供給源は、プラズマアークまたはガス金属アークの形をとることができる。いくつかの変形例では、消耗金属ワイヤ自体が加熱回路の一部であってもよく、電流を伝導してもよく、物品 410 とは異なる電圧でバイアスされてもよい。

【0031】

前の構成と同様に、装置 400 は、回転チャック 420 に機械的に連結された並進ステージ 442 を含む。本開示と同等に一致する他の例では、並進ステージまたは回転ステージは、エネルギービーム供給源 434 および / またはノズル 430 に機械的に連結されてもよく、回転チャック 420 は静止していてもよい。他の例では、回転チャックならびにエネルギービーム供給源および / またはノズルは移動可能であり得る。

【0032】

装置 400 では、コンピュータ 444 は、並進ステージ 442、エネルギービーム供給源 434、および金属ワイヤフィード 494 に動作的に結合される。コンピュータは、上述したように、形成されるべき物品のデジタルモデル 446 を受け取るように構成されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 3 】

図 5 は、結合した第 1 の金属および第 2 の金属を含む物品を付加製造するための例示的な方法 5 0 0 の態様を示し、第 1 の金属は鋼およびチタンの一方を含み、第 2 の金属は鋼およびチタンの他方を含む。いくつかの例では、本明細書で言及される「鋼」は炭素鋼を含むことができる。他の例では、鋼は合金鋼を含むことができる。方法 5 0 0 で使用され得る合金鋼の 1 つの非限定的な例が Maraging M300 鋼であり、Maraging M300 鋼は、質量で、67%鉄、18.5%ニッケル、9%コバルト、4.8%モリブデン、0.6%チタン、0.1%アルミニウム、0.10%シリコン、0.10%マンガン、0.030%炭素、0.01%ジルコニウム、0.01%硫黄、および 0.0030%ホウ素を含む。同様に、本明細書で言及される「チタン」は、実質的に純粋なチタンまたは任意の適切なチタン合金を含むことができる。方法 5 0 0 で使用され得るチタン合金の 1 つの非限定的な例が Ti-6Al-4V であり、Ti-6Al-4V は、質量で約 6%アルミニウムおよび 4%バナジウムを含む。

10

## 【 0 0 3 4 】

方法 5 0 0 は、上述した図 3 の装置 3 0 0 を使用して実施することができる。しかしながら、方法 5 0 0 は、いくつかの実施態様では装置 3 0 0 とは大幅に異なり得る他の任意の適切な装置を使用して実施されてもよいことが理解されよう。

## 【 0 0 3 5 】

方法 5 0 0 の 5 4 8 で、物品の付加製造を容易にするために第 1 の金属、鋼またはチタンの基板がエッチングされる。エッチングには、化学エッチング、電気化学エッチング、機械的エッチング（例えば、サンディングなどの研磨）、または上記エッチングの任意所望の組合せが含まれ得る。エッチングは、基板の外面に下塗りをし、それによって基板への付加金属の接着を強化するために使用され得る。5 5 0 で、基板は付加製造装置に固定される。基板は、例えば、チャック、万力、クランプ、またはアンビルによって固定され得る。

20

## 【 0 0 3 6 】

5 5 2 で、第 3 の金属の界面（またはいわゆる「バタリング」）層が第 1 の金属の基板上に配置される。第 3 の金属は、第 1 の金属と合金を形成することができかつ第 2 の金属と合金を形成することができる任意の金属とすることができる。いくつかの例では、第 3 の金属は、鋼の格子面間隔とチタンの格子面間隔の中間の格子面間隔を示すことができる。典型的には、第 3 の金属は、鋼ともチタンとも金属間化合物を形成しない。いくつかの例では、界面層は、バナジウム、ニオブ、およびタンタルのうちの 1 つまたは複数を含むことができる。いくつかの例では、界面層は箔を含むことができる。例えば、厚さが約 0.01 ~ 0.10 インチのニオブ箔が界面層として使用され得る。

30

## 【 0 0 3 7 】

5 5 4 で、第 2 の金属の消耗形態が界面層の軌跡に供給される。基板がチタンまたはチタン合金を含む例では、第 2 の金属の消耗形態は鋼を含むことができ、基板が鋼を含む例では、第 2 の金属の消耗形態はチタンまたはチタン合金を含むことができる。いくつかの例では、第 2 の金属の消耗形態は金属微粒子を含むことができる。金属微粒子は、いくつかの実施態様では、第 2 の金属が付加されることになる界面層の軌跡に選択的に供給され得る。他の実施態様では、金属微粒子は、界面層全体にわたって薄層で供給され得る。他の例では、第 2 の金属の消耗形態は、上述したように金属ワイヤを含むことができる。

40

## 【 0 0 3 8 】

5 5 6 で、界面層の軌跡が、付加製造装置の非反応性環境内で加熱される。上述したように、非反応性環境は、酸素および窒素の枯渇した環境である。非反応性環境は、いくつかの例では、真空、あるいは静的もしくは流動アルゴンまたはヘリウムの雰囲気を含むことができる。界面層の軌跡は、レーザビーム、例えば、焦点領域に約 1500 ~ 約 2000 ワットを供給するレーザのビームを使用して加熱され得る。他の実施態様では、軌跡は、同様の出力および焦点領域の電子ビームによって加熱され得る。

## 【 0 0 3 9 】

50

５５６で実施される加熱は、第２の金属の消耗形態を融解させて第２の金属の融解形態を提供することができ、第２の金属の融解形態を界面層に接合することができる。第２の金属の融解形態は、例えば、融解金属微粒子または融解金属ワイヤを含むことができる。このようにして、加熱することで、第２の金属の融解形態内への界面層の一部の溶解を引き起こすことができる同様に、加熱することで、界面層内への第２の金属の融解形態の一部の溶解を引き起こすことができる。いくつかの実施態様では、「融解する（fuse）」、「融解した（fused）」、「融解（fusion）」などの用語は、第２の金属の消耗形態の局所溶融（すなわち、液体状態への遷移）を指す場合があることに留意されたい。他の実施態様では、同用語は、それ自体が液体を形成せず、それにもかかわらず、ある金属層から別の金属層への物質移行を促進する軟化作用または焼結作用を指す場合がある。

10

#### 【００４０】

いくつかの実施態様では、５５６で実施される加熱は、界面層を基板に接合し、それによって基板内への界面層の一部の溶解および／または界面層内への基板の一部の溶解を引き起こすのにも役立つことができる。この形態は、この形態が付加製造方法を簡略化するので有用である。それにもかかわらず、基板、界面層、および第２の金属の融解形態を同時に接合することは、必ずしも必要または望ましいとは限らない。したがって、他の例では、界面層は、第２の金属の融解形態を付加する前に基板に接合されてもよい。

#### 【００４１】

したがって、任意選択のステップ５５８で、界面層は、付加製造装置の非反応性環境内で基板に事前溶接され得る。この任意選択のステップは、第２の金属の消耗形態を軌跡に供給する前に実施され得る。ステップ５５８を含む実施態様では、事前溶接は、基板内への界面層の一部の溶解を引き起こすことができる。同様に、事前溶接は、界面層内への基板の一部の溶解を引き起こすことができる。

20

#### 【００４２】

５６０で、第２の金属の融解形態の後続層が、既に形成された第２の金属の融解層に付加される。このステップは、デジタルモデルで定義された物品のトポロジーに基づいて、所望の物品が構築されるまで何度でも繰り返すことができる。

#### 【００４３】

５６２で、物品は付加製造装置から取り除かれ、適切な期間にわたって制御された温度条件下で焼鈍される。焼鈍は、付加製造物品内の欠陥部位の密度を低減し、それによって物品の強度を増加させるのに役立つことができる。焼鈍プロセスは、異種金属の接合により物品に与えられる残留応力を低減することもできる。

30

#### 【００４４】

図６は、図５の方法５００に従って形成され得る例示的な物品６１０の態様を示す。物品６１０は、第２の金属の印刷構造６１４に結合される第１の金属の基板６１２を含む。上述したように、第１の金属は鋼およびチタンの一方を含むことができ、第２の金属は鋼およびチタンの他方を含むことができる。第２の金属の印刷構造６１４は、第２の金属の消耗形態の融解によって形成され、同時に第３の金属６２２の部分溶解層を介して基板に接合される。第３の金属には、第１の金属と合金を形成することができかつ第２の金属と合金を形成することができる任意の金属が含まれ得る。いくつかの例では、第３の金属は、鋼の格子面間隔とチタンの格子面間隔の中間の格子面間隔を示すことができる。いくつかの例では、第３の金属は、鋼ともチタンとも安定した金属間化合物を形成しない。いくつかの例では、第３の金属は、バナジウム、ニオブ、およびタンタルのうちの１つまたは複数を含むことができる。

40

#### 【００４５】

図６に示されるように、第３の金属６２２は、少なくとも基板６１２に浸透する。いくつかの例では、第３の金属６２２は、印刷構造６１４にも浸透することができる。同様に、基板からの第１の金属と融解金属微粒子からの第２の金属の両方が、第３の金属の境界層に浸透することができる。いくつかの例では、基板は歯車シャフトを備えることができ

50

、印刷構造はスプロケットを備えることができる。

【 0 0 4 6 】

図 5 の方法の態様も図 6 の物品の態様も、限定的な意味に解釈されるべきではない、というのは、多数の変形、拡張、および省略も想定されるからである。例えば、図 5 の付加製造方法で基板として使用される物体は、それ自体が以前の付加製造の製品であってもよい。いくつかの例では、この種の物体は単一金属を含むことができる。他の例では、物体は、本明細書に記載されているように、界面層を介して結合される異種金属を含むことができる。したがって、図 5 の方法に従って形成された物品のすべての部分が、いくつかの例では、付加製造に由来することができる。

【 0 0 4 7 】

図 6 ~ 図 9 は、図 5 の方法に従って付加製造された物品について収集された分析データを示す。より具体的には、物品は、「バター付き」Ti 6 AL - 4 V 基板上に Maraging M300 合金鋼金属微粒子を付加的に添加することによって成形された。基板に付着された界面層は、厚さ 0 . 0 1 2 インチのニオブ箔であった。ニオブ箔は、図 3 の装置 300 に類似した付加製造装置を使用して基板に事前溶接され ( 図 5 のステップ 558 )、事前溶接中に金属微粒子の送出が中断された。1500 W のレーザー放射照度が約 4 mm<sup>2</sup> のスポットサイズに集束し、毎分 120 リットル ( L / M ) のアルゴン流の下で、1 . 0 インチのライン長で毎分 39 . 4 インチの速度で並進した。このラインに沿った単一パスが事前溶接に使用された。

【 0 0 4 8 】

事前溶接に続いて、レーザー出力は 1800 W まで上げられ、Maraging M300 合金鋼金属微粒子が 25 グラム / 分の流量で送出された。レーザースポットは、同じく 120 L / M のアルゴン流の下で、同じ 1 . 0 インチのライン長で毎分 39 . 4 インチの速度で 2 度並進した。

【 0 0 4 9 】

このようにして形成された物品は、材料付加の方向に平行な、レーザースポットの移動方向にも平行な平面でダイヤモンドソーを使用して劈開された。劈開面は、ベークライトに密封され、320 グリットのサンドペーパーを使用して研磨され、ダイヤモンドペーストを使用して研磨された。ここで報告されている分析はすべて、研磨された劈開面上で行われた。

【 0 0 5 0 】

図 7 は、劈開面の同じ領域の一連の画像を示す。画像 764 は、参照用に提供される高倍率の光学顕微鏡画像であり、この画像は、チタン層 766、ニオブ層 768、および鋼層 770 を示す。図 7 の他の画像は、Mo K $\alpha$  放射線への曝露中に劈開面の同じ領域にわたって記録されたエネルギー分散型 X 線 ( EDX ) 放射マップである。画像 772 では、各画素の明るさは Ti K $\alpha$  発光強度に対応し、したがって、劈開面でのチタン原子の相対濃度について報告する。同様に、画像 774 の明るさは Nb L $\alpha$  発光強度に対応し、ニオブ濃度について報告するが、画像 776 の明るさは Fe K $\alpha$  発光強度に対応し、鉄濃度について報告する。これらの結果は、ニオブがチタン層 766 および鋼層 770 の中にかなり浸透していることを実証している。この形態は、図 8 の EDX ライン走査データを参照するとより容易に見られる。

【 0 0 5 1 】

図 8 は、図 7 に画像化された領域を貫通して延伸する 2 つの経路に沿って抽出された EDX ラインデータを示す。2 つの経路は、材料の付加方向に実質的に平行であり、互いに対して数ミリメートルオフセットされている。これらのグラフにおいて、実線は Nb L $\alpha$  発光強度に対応し、破線は Ti K $\alpha$  発光強度に対応し、点線は Fe K $\alpha$  発光強度に対応する。上述したように、ニオブは、チタン層 766 と鋼層 770 の両方にかかり浸透している。

【 0 0 5 2 】

図 9 は、同じく材料の付加方向に実質的に平行な経路に沿って、劈開面の別の領域で行

10

20

30

40

50

われたナノインデンテーションライン走査実験の結果を示す。この研究では、MTS nanoindenterを、押込み深さを700ナノメートルに設定し、押込み間隔を50マイクロメートルに設定してCSMテストモードで操作した。データは、純チタン相766から純鋼相770への比較的段階的な移行を示している。

【0053】

図10は、図6、図7および図8で検査された劈開面の別の部分の走査型電子顕微鏡(SEM)画像である。SEMによる検査の前に、劈開面は、クロル液(Kroll's reagent)を使用して化学的にエッチングされた。鋼層770の粒子形態を明らかにすることに加えて、SEM画像は、最初に滑らかなニオブ層768の顕著な乱れを示し、この乱れは、チタン層766および鋼層770の中へのニオブの顕著な物質移行と一致する。

10

【0054】

いくらか異なる条件を使用して、図5の方法に従って追加の物品を準備した。これらの物品はまた、上述したように、電子顕微鏡、EDX分光法、およびナノインデンテーションによっても分析された。上述したように準備された物品であるが、事前溶接には2000Wという高いレーザ出力を使用し、微粒子の融解には1200Wという低いレーザ出力を使用することで、図10示されている結果と比較して、鋼層とチタン層との間の接合が不均一になった。その物品のEDX分析により、ニオブがチタン層および鋼層の中になんり浸透することが明らかになった。上述したように準備された別の物品は、事前溶接および微粒子融解にレーザ出力1500Wを使用し、0.007インチという薄いニオブ箔を使用することで、接合部における金属の混合が少ないことが明らかになった。特に、その物品のEDX分析により、ニオブはチタン層内にかなり浸透するが、ニオブは鋼層内にはほとんどまたはまったく浸透しないことが明らかになった。

20

【0055】

さらに、本開示は下記条項による例を含む。

【0056】

条項1．結合した第1の金属および第2の金属を含む物品310、410、610を付加製造する方法であって、第1の金属が鋼およびチタンの一方を含み、第2の金属が鋼およびチタンの他方を含み、方法が、第1の金属の基板312、412、612上に第3の金属622の界面層322、422を配置するステップであって、第3の金属622が、第1の金属と合金を形成することができかつ第2の金属と合金を形成することができる、ステップと、第2の金属の消耗形態を界面層322、422の軌跡332、432に供給するステップと、界面層322、422の軌跡332、432を非反応性環境340、440内で加熱するステップであって、加熱するステップが、第2の金属の消耗形態を融解させて第2の金属の融解形態314、414を提供し、第2の金属の融解形態314、414を界面層322、422に接合する、ステップとを含む、方法。

30

【0057】

条項2．界面層322、422が、バナジウム、ニオブ、およびタンタルのうちの1つまたは複数を含む、条項1に記載の方法。

【0058】

条項3．界面層322、422の軌跡332、432を加熱するステップが、第2の金属の融解形態314、414内への界面層322、422の一部の溶解を引き起こす、条項1に記載の方法。

40

【0059】

条項4．界面層322、422の軌跡332、432を加熱するステップが、界面層322、422を基板312、412、612に接合し、基板312、412、612内への界面層322、422の一部の溶解を引き起こす、条項1に記載の方法。

【0060】

条項5．第2の金属の消耗形態を軌跡332、432に供給する前に、非反応性環境340、440内で界面層322、422を基板312、412、612に事前溶接するス

50

テップであって、事前溶接するステップが、基板 3 1 2、4 1 2、6 1 2 内への界面層 3 2 2、4 2 2 の一部の溶解を引き起こす、ステップをさらに含む、条項 1 に記載の方法。

【0061】

条項 6、非反応性環境 4 4 0 が流動アルゴンの環境を含む、条項 1 に記載の方法。

【0062】

条項 7、界面層 3 2 2、4 2 2 の軌跡 3 3 2、4 3 2 を加熱するステップが、レーザビームで加熱することを含む、条項 1 に記載の方法。

【0063】

条項 8、レーザビームが、レーザビームの焦点に 1.5 ~ 2.0 キロワットを供給する、条項 7 に記載の方法。

10

【0064】

条項 9、界面層 3 2 2、4 2 2 の軌跡 3 3 2、4 3 2 を加熱するステップが、電子ビームで加熱することを含む、条項 1 に記載の方法。

【0065】

条項 10、界面層 4 2 2 が箔を含む、条項 1 に記載の方法。

【0066】

条項 11、鋼が合金鋼を含み、チタンが、質量で約 6 % のアルミニウムおよび 4 % のバナジウムを含む、条項 1 に記載の方法。

【0067】

条項 12、第 2 の金属の消耗形態が微粒子 3 2 6 を含み、第 2 の金属の融解形態 4 1 4 が融解微粒子を含む、条項 1 に記載の方法。

20

【0068】

条項 13、第 2 の金属の消耗形態がワイヤ 4 9 0 を含む、条項 1 に記載の方法。

【0069】

条項 14、物品 3 1 0、4 1 0、6 1 0 を焼鈍するステップをさらに含む、条項 1 に記載の方法。

【0070】

条項 15、第 1 の金属の基板 3 1 2、4 1 2、6 1 2 と、第 2 の金属の消耗形態の融解によって形成され、同時に第 3 の金属 6 2 2 の部分溶解層を介して基板 6 1 2 に接合された第 2 の金属の印刷構造 6 1 4 であって、第 3 の金属 6 2 2 が少なくとも基板 6 1 2 に浸透し、第 1 の金属が鋼およびチタンの一方を含み、第 2 の金属が鋼およびチタンの他方を含む、印刷構造 6 1 4 とを備える、物品 3 1 0、4 1 0、6 1 0。

30

【0071】

条項 16、第 3 の金属 6 2 2 が、バナジウム、ニオブ、およびタンタルのうちの 1 つまたは複数を含む、条項 15 に記載の物品 3 1 0、4 1 0、6 1 0。

【0072】

条項 17、第 3 の金属 6 2 2 が印刷構造にも浸透する、条項 15 に記載の物品 3 1 0、4 1 0、6 1 0。

【0073】

条項 18、基板 6 1 2 が歯車シャフト 2 1 2 を備え、印刷構造がスプロケット 2 1 4 を備える、条項 15 に記載の物品 3 1 0、4 1 0、6 1 0。

40

【0074】

条項 19、結合した第 1 の金属および第 2 の金属を含む物品 3 1 0、4 1 0、6 1 0 を付加製造する方法 5 0 0 であって、第 1 の金属が鋼およびチタンの一方を含み、第 2 の金属が鋼およびチタンの他方を含み、方法が、第 1 の金属の基板 3 1 2、4 1 2、6 1 2 上にニオブ層 7 6 8 を配置するステップと、第 2 の金属の消耗形態をニオブ層 7 6 8 の軌跡 3 3 2、4 3 2 に供給するステップと、ニオブ層 7 6 8 の軌跡 3 3 2、4 3 2 を非反応性環境 3 4 0、4 4 0 内で加熱するステップであって、加熱するステップが、第 2 の金属の消耗形態を融解させて第 2 の金属の融解形態 3 1 4、4 1 4 を提供し、第 2 の金属の融解形態 3 1 4、4 1 4 をニオブ層 7 6 8 に接合する、ステップとを含む、方法 5 0 0。

50

## 【 0 0 7 5 】

条項 2 0 . ニオブ層 7 6 8 の軌跡 3 3 2、4 3 2 を加熱するステップが、第 2 の金属の融解形態 3 1 4、4 1 4 内へのニオブ層 7 6 8 の一部の溶解を引き起こす、条項 1 9 に記載の方法 5 0 0。

## 【 0 0 7 6 】

条項 2 1 . ニオブ層 7 6 8 の軌跡 3 3 2、4 3 2 を加熱するステップが、ニオブ層 7 6 8 を基板 3 1 2、4 1 2、6 1 2 に接合し、基板 3 1 2、4 1 2、6 1 2 内へのニオブ層 7 6 8 の一部の溶解を引き起こす、条項 1 9 に記載の方法 5 0 0。

## 【 0 0 7 7 】

条項 2 2 . 第 2 の金属の消耗形態を軌跡 3 3 2、4 3 2 に供給する前に、非反応性環境 3 4 0、4 4 0 内でニオブ層 7 6 8 を基板 3 1 2、4 1 2、6 1 2 に事前溶接するステップであって、事前溶接するステップが、基板 3 1 2、4 1 2、6 1 2 内へのニオブ層 7 6 8 の一部の溶解を引き起こす、ステップをさらに含む、条項 1 9 に記載の方法 5 0 0。

## 【 0 0 7 8 】

条項 2 3 . ニオブ層 7 6 8 の軌跡 3 3 2、4 3 2 を加熱するステップが、レーザービームおよび電子ビームの一方または両方で加熱することを含む、条項 1 9 に記載の方法 5 0 0。

## 【 0 0 7 9 】

条項 2 4 . 第 2 の金属の消耗形態が微粒子 3 2 6 を含み、第 2 の金属の融解形態 3 1 4、4 1 4 が融解微粒子を含む、条項 1 9 に記載の方法 5 0 0。

## 【 0 0 8 0 】

条項 2 5 . 第 2 の金属の消耗形態がワイヤ 4 9 0 を含む、条項 1 9 に記載の方法 5 0 0。

## 【 0 0 8 1 】

条項 2 6 . ニオブ層 7 6 8 が、厚さが 0 . 0 1 ~ 0 . 1 0 インチの箔を含む、条項 1 9 に記載の方法 5 0 0。

## 【 0 0 8 2 】

本開示は、例として、添付の作図を参照して提示される。図のうちの 1 つまたは複数において実質的に同じであり得る構成要素、方法ステップ、および他の要素は、協調して識別され、最小限の繰り返りで説明される。しかしながら、協調して識別された要素はある程度異なる場合もあることに留意されたい。さらに、これらの図は概略図であり、一般に原寸に比例して描かれていないことに留意されたい。むしろ、図に示されている様々な図面の縮尺、アスペクト比、および構成要素の数は、特定の形態または関係をより見やすくするために故意にゆがめられていることがある。

## 【 0 0 8 3 】

本明細書に記載されている構成および / または手法は本質的に例示であり、これらの特定の実施形態または例は、多くの変形形態が可能であるため、限定的な意味に考慮されるべきではないことを理解されたい。本明細書で記載されている特定のルーチンまたはプロセスは、任意の数の処理戦略のうちの 1 つまたは複数を表すことができる。したがって、図示および / または記述されている様々な動作は、図示および / または記述されているシーケンスで、もしくは他のシーケンスで、または並行して実行されてもよく、あるいは省略されてもよい。同様に、上述のプロセスの順番は変更され得る。

## 【 0 0 8 4 】

本開示の主題は、本明細書に開示される様々な方法、システム、および構成と他の形態、機能、動作、および / または特性とのすべての新規かつ非自明な組合せおよびサブコンビネーション、ならびにこれらのあらゆる同等物を含む。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 8 5 】

2 0 0 製造製品

2 0 2 胴体

2 0 4 翼セクション

2 0 6 尾部セクション

10

20

30

40

50

|       |                       |    |
|-------|-----------------------|----|
| 2 0 8 | 操縦翼面                  |    |
| 2 1 0 | 歯車                    |    |
| 2 1 2 | シャフト、歯車シャフト、チタン合金シャフト |    |
| 2 1 4 | スプロケット                |    |
| 3 0 0 | 装置                    |    |
| 3 1 0 | 物品                    |    |
| 3 1 2 | 基板                    |    |
| 3 1 4 | 融解形態                  |    |
| 3 1 6 | チャンバ                  |    |
| 3 2 0 | 回転チャック                | 10 |
| 3 2 2 | 界面層                   |    |
| 3 2 4 | 金属微粒子リザーバ             |    |
| 3 2 6 | 金属微粒子、微粒子             |    |
| 3 2 8 | 金属微粒子ポンプ              |    |
| 3 3 0 | ノズル                   |    |
| 3 3 2 | 軌跡                    |    |
| 3 3 4 | エネルギービーム供給源           |    |
| 3 3 6 | エネルギービーム              |    |
| 3 4 0 | 非反応性環境                |    |
| 3 4 2 | 並進ステージ                | 20 |
| 3 4 4 | コンピュータ                |    |
| 3 4 6 | デジタルモデル               |    |
| 4 0 0 | 装置                    |    |
| 4 1 0 | 物品                    |    |
| 4 1 2 | 基板                    |    |
| 4 1 4 | 融解形態                  |    |
| 4 1 6 | チャンバ                  |    |
| 4 2 0 | 回転チャック                |    |
| 4 2 2 | 界面層                   |    |
| 4 3 0 | ノズル                   | 30 |
| 4 3 2 | 軌跡                    |    |
| 4 3 4 | エネルギービーム供給源           |    |
| 4 3 6 | 電子ビーム                 |    |
| 4 4 0 | 非反応性環境                |    |
| 4 4 2 | 並進ステージ                |    |
| 4 4 4 | コンピュータ                |    |
| 4 4 6 | デジタルモデル               |    |
| 4 9 0 | ワイヤ、金属ワイヤ             |    |
| 4 9 2 | 金属ワイヤスプール             |    |
| 4 9 4 | ワイヤフィーダ、金属ワイヤフィーダ     | 40 |
| 5 0 0 | 方法                    |    |
| 6 1 0 | 物品                    |    |
| 6 1 2 | 基板                    |    |
| 6 1 4 | 印刷構造                  |    |
| 6 2 2 | 第3の金属                 |    |
| 7 6 4 | 画像                    |    |
| 7 6 6 | チタン層、純チタン相7           |    |
| 7 6 8 | ニオブ層                  |    |
| 7 7 0 | 鋼層、純鋼相                |    |
| 7 7 2 | 画像                    | 50 |

774 画像  
776 画像

【図面】  
【図 1】

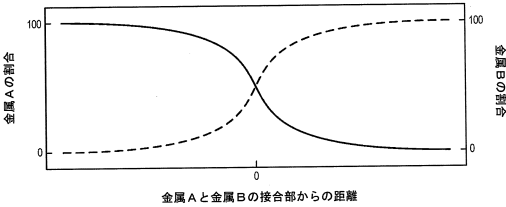


FIG. 1

【図 2 A】

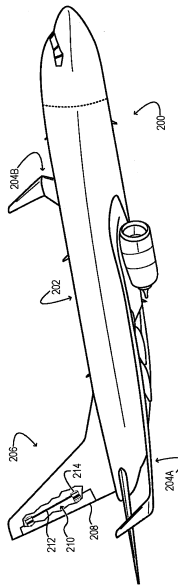


FIG. 2A

【図 2 B】

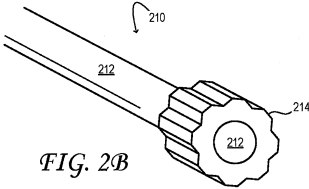


FIG. 2B

【図 3】

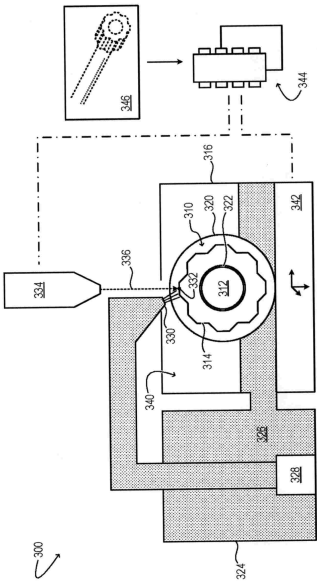


FIG. 3

10

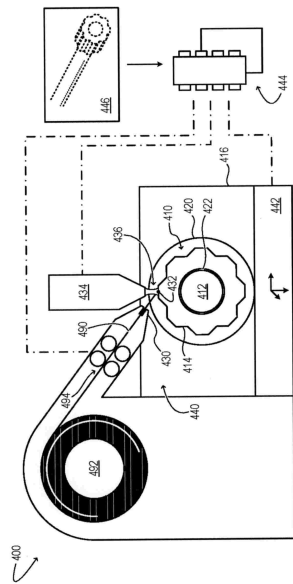
20

30

40

50

【 図 4 】



【 図 5 】

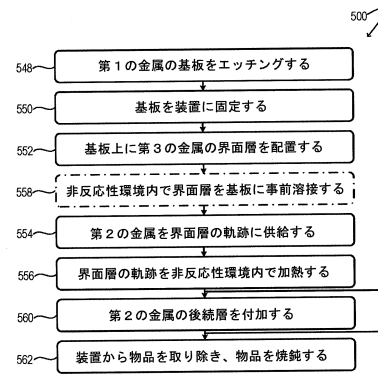


FIG. 5

【 図 6 】

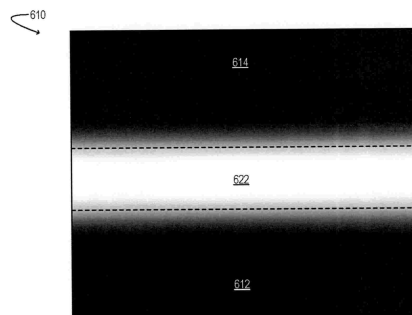


FIG. 6

【 図 7 】

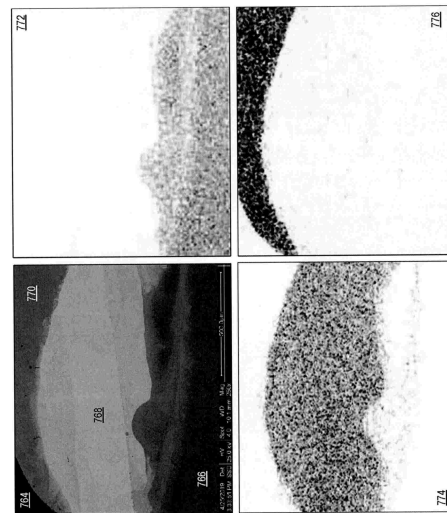


FIG. 7

【 図 8 】

【 図 9 】

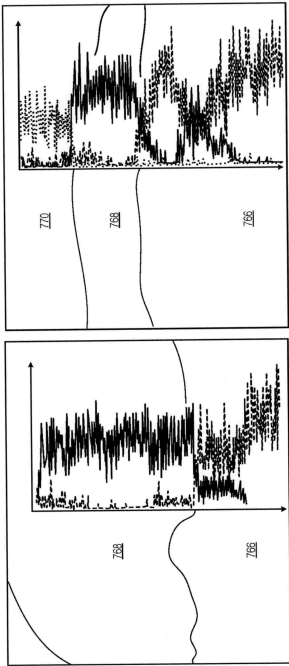


FIG. 8

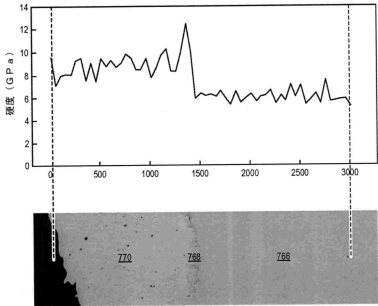


FIG. 9

【 図 10 】

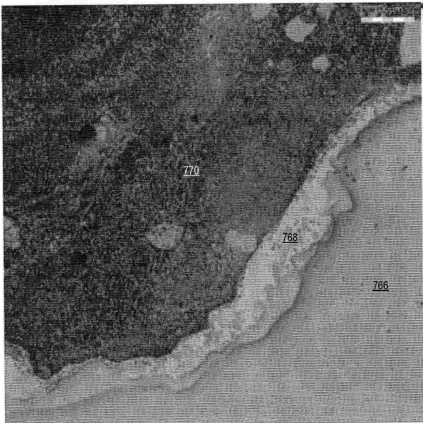


FIG. 10

フロントページの続き

アメリカ合衆国・イリノイ・６０６０６・シカゴ・ノース・リヴァーサイド・プラザ・１００  
(72)発明者 エリック・エルウィン・トーマス  
アメリカ合衆国・イリノイ・６０６０６・シカゴ・ノース・リヴァーサイド・プラザ・１００  
審査官 松田 長親  
(56)参考文献 韓国登録特許第１０－１９８１６２５（ＫＲ，Ｂ１）  
米国特許出願公開第２０１８／０１６１９３１（ＵＳ，Ａ１）  
特開平９－１７４２５５（ＪＰ，Ａ）  
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)  
Ｂ２３Ｋ ２６／００－２６／７０